

Ю. В. КОНОВАЛОВ, І. В. КАРМАЗІНА, А. Г. ПРИСЯЖНИЙ, В. В. КУХАР

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ РЕЖИМІВ ПРОКАТКИ ЖЕРСТІ ПРИ РІЗНИХ ПАРАМЕТРАХ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

Представлений огляд станів холодного прокатування, що використовуються для виробництва жерсті і тонкої жерсті у світі. Світове виробництво жерсті характеризується прагненням до зменшення товщини її сталеві основи, що поряд з високими вимогами до механічних властивостей, якості поверхні і точності геометричних розмірів холоднокатаної смуги, представляє складну виробничу задачу. Зміна технічних параметрів, модернізація складу обладнання цехів з виробництва жерсті, що викликані посиленням вимог до неї, зумовили різноманіття існуючих сьогодні жерстепрокатних станів: безперервних чотирьох-, п'яти- і шестиклітьових; двоклітьових реверсивних. У зв'язку із різноманіттям жерстепрокатних станів, особливостями умов деформації тонкої жерсті, складністю технологічного процесу і теоретичного прогнозування параметрів процесу прокатки, особливо з точки зору універсальності теоретичної моделі, а також нечисленністю існуючих практичних даних обґрунтована необхідність експериментального дослідження. Розроблена методика експериментального дослідження енергосилових режимів прокатки жерсті і тонкої жерсті для різних станів холодної прокатки: п'яти-, шести- і семиклітьового. Розроблені режими деформації, що дозволяють моделювати процес безперервної холодної прокатки жерсті товщиною 0,16 мм та 0,28 мм на п'яти-, шести- і семиклітьовому станах відповідно. Представлена технічна характеристика промислово-лабораторного обладнання, що задіяне в експериментальному дослідженні. Представлені результати дослідження хімічного складу і механічних властивостей початкової заготовки. Експериментальне дослідження енергосилових режимів прокатки жерсті при різних параметрах станів холодної прокатки за розробленою методикою дозволить визначити їх оптимальне поєднання, а також обґрунтувати вибір прокатного обладнання з точки зору енергоефективності процесу прокатки і якості смуги.

Ключові слова: тонка жерсть, жерстепрокатний стан, методика експериментального дослідження, режим обтиснення, енергосилові параметри, якість.

Ю. В. КОНОВАЛОВ, И. В. КАРМАЗИНА, А. Г. ПРИСЯЖНЫЙ, В. В. КУХАРЬ

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ЖЕСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Представлен обзор станов холодной прокатки, используемых для производства жести и тонкой жести в мире. Мировое производство жести характеризуется стремлением к уменьшению толщины ее стальной основы. Наряду с высокими требованиями к механическим свойствам, качеству поверхности и точности геометрических размеров холоднокатаной полосы это представляет сложную производственную задачу. Изменение технических параметров, модернизация состава оборудования цехов по производству жести, вызванных усилением требований к ней, обусловили многообразие существующих сегодня жестепрокатных станов: непрерывных четырех-, пяти- и шестиклетьевых; двухклетевых реверсивных. В связи с многообразием жестепрокатных станов, особенностями условий деформации тонкой жести, сложностью технологического процесса и теоретического прогнозирования параметров процесса прокатки, особенно с точки зрения универсальности теоретической модели, а также малочисленностью существующих практических данных обоснована необходимость экспериментального исследования. Разработана методика экспериментального исследования энергосиловых режимов прокатки жести и тонкой жести для различных станов холодной прокатки: пяти-, шести- и семиклетьевого. Разработаны режимы деформации, позволяющие моделировать процесс непрерывной холодной прокатки жести толщиной 0,16 мм и 0,28 мм в пяти-, шести- и семиклетьевом станах соответственно. Представлена техническая характеристика промышленно-лабораторного оборудования, задействованного в экспериментальном исследовании. Представлены результаты исследования химического состава и механических свойств исходной заготовки. Экспериментальное исследование энергосиловых режимов прокатки жести при различных параметрах станов холодной прокатки по разработанной методике позволит определить их оптимальное сочетание, а также обосновать выбор прокатного оборудования с точки зрения энергоэффективности процесса прокатки и качества полосы.

Ключевые слова: тонкая жель, жестепрокатный стан, методика экспериментального исследования, режим обжатия, энергосиловые параметры, качество.

Yu. V. KONOVALOV, I. V. KARMAZINA, A. H. PRYSIAZHNYI, V. V. KUKHAR

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY OF ENERGY AND POWER MODES FOR TINPLATE ROLLING AT DIFFERENT PARAMETERS OF COLD ROLLING MILLS

The review of cold rolling mills used for the production of tinplate and thin tinplate in the world is presented. World tinplate production is characterized by the desire to reduce the thickness of its steel base. Along with the high demands on mechanical properties, surface quality and accuracy of the geometric dimensions of the cold-rolled strip, this is a complex production task. The technical parameters change, the equipment modernization of the shops for the tinplate production, caused by the increasing requirements for it, has caused a variety of existing tinplate rolling mills: continuous five-, six- and seven-stand; reversible two-stand. In connection with the variety of tinplate rolling mills, peculiarities of the deformation conditions of thin tinplate, complexity of the technological process and theoretical prediction of the rolling process parameters, especially in terms of the theoretical model universality, as well as paucity of existing practical data, the necessity of experimental research is substantiated. Experimental research methodology of energy and power modes for tinplate and thin tinplate rolling for different cold rolling mills: five-, six- and seven-stand, was developed. Deformation modes have been developed that allow simulating the process of continuous cold rolling of tinplate with a thickness of 0.16 mm and 0.28 mm in five-, six- and seven-stand mills, respectively. The technical characteristics of industrial-laboratory equipment involved in experimental research are presented. The results of the chemical composition and mechanical properties investigation of the initial billet are presented. Experimental research of energy and power modes for tinplate rolling at different parameters of cold rolling mills using the developed methodology will determine their optimal combination, as well as justify the choice of rolling equipment in terms of energy efficiency of the rolling process and the quality of the strip.

Keywords: thin tinplate, tinplate rolling mill, experimental research methodology, deformation mode, energy and strength parameters, quality.

Вступ. Світове виробництво жерсті характеризується прагненням до зменшення товщини її сталеві основи [1], що поряд з високими вимогами до механічних властивостей, якості поверхні і точності

геометричних розмірів холоднокатаної смуги [2], представляє складну виробничу задачу. Останнім часом ця задача вирішувалася за рахунок дворазової прокатки на прокатно-дресирувальних станах, а також

збільшенням числа клітей безперервних станів. Зміна технічних параметрів, модернізація складу обладнання цехів з виробництва жерсті, що викликані посиленням вимог до неї, зумовили різноманіття існуючих сьогодні жерстепрокатних станів: безперервних чотирьох-, п'яти- і шестиклітьових, двоклітьових реверсивних. З'явилася пропозиція прокатки жерсті на безперервному семиклітьовому стані [3], обґрунтування доцільності застосування такого стану в літературі не виявлено.

Особливість і складність технології виробництва холоднокатаних смуг і жерсті пов'язані з інтенсивним зміцненням, високою швидкістю прокатки. Використання запасу пластичності металу може призводити до утворення тріщин [4], а високі швидкості прокатки викликають резонансні вібрації, що негативно впливають на якість смуги. Ці фактори необхідно враховувати при розробці режимів деформацій і технології виробництва.

Складні умови прокатки жерсті, різноманіття жерстепрокатних станів створюють труднощі як в теоретичному прогнозуванні параметрів процесу прокатки, так і в плані експериментальних досліджень, що пояснює їх нечисленність. Серед останніх потрібно відзначити роботу [5], автори якої експериментально дослідили вплив натягнення на силу прокатки при холодній деформації смуги. У зв'язку з нечисельністю експериментальних досліджень актуальна оцінка достовірності існуючих прийнятих теоретичних рішень шляхом експериментального дослідження параметрів процесу холодної прокатки тонкої жерсті, яке могло б повною мірою врахувати особливості технологічного процесу і відмінність властивостей прокатного обладнання.

Аналіз стану питання. Огляд світового виробництва жерсті показав, що сьогодні для прокатки застосовують безперервні шести-, п'яти- і чотирьохклітьові стани; двоклітьові реверсивні стани застосовують тільки для отримання тонкої жерсті. Досвід світової практики показує, чим тонше необхідна товщина жерсті, тим більше число клітей безперервного стану первинної прокатки.

Так, наприклад, комплекс з виробництва холоднокатаного листа і жерсті з мінімальною товщиною 0,1 мм і максимальною шириною 1200 мм компанії «ThyssenKrupp Rasselstein GmbH» [6] включає безперервну лінію травлення гарячекатаного підкату, безперервний шестиклітьовий стан холодної прокатки з максимально можливою швидкістю прокатки 40,2 м/с і річною продуктивністю 1,5 млн. тонн, безперервні лінії очищення, відділення колпакового і безперервного відпалу, двоклітьовий прокатно-дресирувальний стан, лінії хромовання, лудіння, лакування, різки та ін. Безперервний шестиклітьовий стан холодної прокатки «ThyssenKrupp Rasselstein GmbH» характеризується наступними параметрами: продуктивність – 1,5 млн. тонн/рік; швидкість прокатки – до 2414 м/хв; товщина г/к підкату – 1,0–4 мм; товщина смуги – 0,1–1,2 мм; ширина смуги – 700–1400 мм; діаметр рулону

– до 2800 мм; маса рулону – до 46 т; діаметр робочих валків – 565–615 мм; діаметр опорних валків – 1300–1450 мм. Прокатно-дресирувальний стан – відповідно: товщина смуги – 0,14–0,55 мм; ширина смуги – 600–1400 мм; швидкість прокатки – до 2200 м/хв; вага рулону – до 35 т; діаметр робочих валків – 505–563 мм; діаметр опорних валків – 1270–1420 мм.

У Тібі (Японія) налагоджено виробництво жерсті розмірами 0,1–1х508–1295 мм. Комплекс для виробництва жерсті представлений агрегатом безперервного травлення гарячекатаного підкату, безперервним п'ятиклітьовим станом холодної прокатки з максимально можливою швидкістю прокатки 46,6 м/с [6], відділеннями колпакового і безперервного відпалу, двоклітьовим прокатно-дресирувальним станом, лініями електролітичного лудіння, лакування, різки та ін. Характеристика безперервного п'ятиклітьового стану холодної прокатки: максимально можлива швидкість прокатки – 2800 м/хв; діаметр робочих валків – 495–610 мм; діаметр опорних валків – 1270–1427 мм.

Подібні комплекси обладнання з виробництва жерсті розташовуються у Південній Кореї та Китаї. Так, на заводі Dongbu Steel в Асан Бей (Південна Корея) прокатують жерсть з мінімальною товщиною сталевих основи до 0,15 мм, шириною 600–1000 мм (при мінімальній товщині) в рулонах масою до 45 тонн на п'ятиклітьовому стані-тандем в комплексі з безперервною лінією травлення і двоклітьовим станом повторної прокатки [7]. П'ятиклітьовий стан-тандем оснащений клітьми сексто, карусельною моталкою, системами додатного і від'ємного вигину робочих і проміжних валків, ESS (Enhanced Shifting System). Стан-тандем заводу Dongbu Steel має високу продуктивність (проектна потужність – 1,34 млн. тонн на рік) і швидкість прокатки (до 1900 м/хв).

Компанія Shougang Group із Західного Пекіна (Китай) має у своєму розпорядженні комплекс обладнання з виробництва жерсті у складі безперервного п'ятиклітьового стану-тандем із лінією травлення (продуктивність установки 1,8 млн. тонн на рік). Стан-тандем також має кліті сексто, що дозволяє отримати на виході мінімальну товщину холоднокатаної смуги – 0,2 мм.

У Тойо (Японія) з 2000 року працює чотирьохклітьовий безперервний стан холодної прокатки, об'єднаний з лінією травлення в травильно-прокатний агрегат [8], з можливістю виробництва жерсті з товщиною до 0,15 мм. Отримання такої малої товщини жерсті на чотирьохклітьовому стані стало можливим за рахунок застосування шестивалкових клітей.

Характеристика безперервного чотирьохклітьового стану холодної прокатки: товщина підкату – 1,6–6,6 мм; діаметр рулону – до 2100 мм; вага рулону – до 25 т; швидкість прокатки – до 1500 м/хв; діаметр валків: 340/490/1300 мм; індивідуальний привід від двигуна змінного струму.

На території СНД значна частка виробництва жерсті доводиться на ПАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» (Росія) і АТ «Іспат-Кармет» (Казахстан). ПАТ «Магнітогорський металургійний

комбінат» не має технічної можливості виробництва жерсті подвійною прокаткою і випускає жерсть одноразової прокатки за ГОСТ 13345-85 з мінімальною товщиною 0,16 мм і максимальною шириною 910 мм на безперервному п'ятикільтовому стані холодної прокатки 1200 з річною продуктивністю близько 435 000 тонн/рік. Сортамент чорної і білої жерсті, виготовленої на безперервному шестикільтовому стані холодної прокатки 1400 (продуктивність близько 850 000 т/рік) АТ «Іспат-Кармет» (Казахстан), обмежується товщиною 0,18 мм і шириною 936 мм.

В Україні все виробництво жерсті зосереджено на ПАТ «Запоріжсталь». Вітчизняний виробник поки не забезпечує потреби України в жерсті не тільки за обсягами, але і за якістю [9], не випускає жерсть необхідних розмірів. Жерсть на ПАТ «Запоріжсталь» прокатують на обладнанні, виготовленому в 30-х роках минулого століття, яке має недостатню продуктивність, високий рівень енерговитрат [10].

Білу жерсть випускають в рулонах при товщині 0,22; 0,25; 0,28 і 0,3 мм. Довгий час її випускали максимальної ширини 321 мм і відвантажували споживачеві в листах. Використання жерсті настільки малої ширини на сучасних консервних лініях неможливе. Лише у 2008 році після реконструкції освоєно технологію виробництва білої жерсті шириною 512 мм, що при розкрої смуг на довжину 712 мм дозволяє отримувати споживачам картки стандартних розмірів. На цей час обсяг виробництва жерсті ПАТ «Запоріжсталь» не перевищує 30–40 тис. т/рік. Тому потреба жерсті в Україні покривається за рахунок імпорту. Проте, Україна

експортує жерсть в Туреччину, Молдову, Єгипет, Сирію, Йорданію та ін. країни.

З'явилася пропозиція застосовувати для прокатки жерсті і семикільтові стани з блочною конструкцією клітей. Поки теоретичного і технологічного обґрунтування цієї пропозиції немає.

Різниця складу обладнання цехів з виробництва жерсті обумовлює розробку режимів деформації, які відповідають конкретному стану, технології виробництва – відповідного компонування і складу устаткування, а також викликає складнощі в теоретичному прогнозуванні параметрів процесу прокатки, особливо з точки зору універсальності теоретичної моделі. Оцінкою достовірності прийнятих теоретичних рішень служать результати експериментальних досліджень. Безліч чинників, що впливають на параметри при прокатці жерсті, пов'язані зі значною складністю процесу, пояснюють труднощі в створенні умов експерименту і, як наслідок, нечисленність існуючих експериментальних досліджень у цьому напрямку.

Мета роботи. Розробка методики експериментального дослідження для оцінки енерго-силових параметрів при прокатці жерсті при різних параметрах прокатного обладнання.

Викладення основного матеріалу. Методика експериментального дослідження розроблена для промислово-лабораторного стану 300/260x250 Донбаської державної машинобудівної академії, загальний вигляд якого представлений на рис. 1.

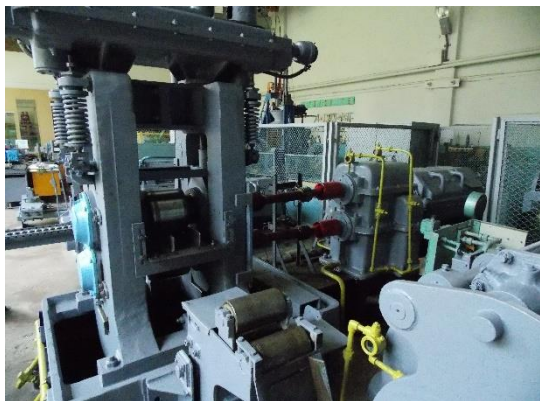


Рис. 1 – Загальний вигляд робочої кліть промислово-лабораторного стану 300/260x250 Донбаської державної машинобудівної академії

Промислово-лабораторний стан включає робочу кліть і її головну лінію, до складу обладнання якої входять: електродвигун постійного струму ДП-72 потужністю 85 кВт; моторна муфта зубчастого типу; комбінований редуктор-шестернева кліть; універсальні шпинделі на тілах кочення з приводом на робочі валки, які характеризуються високою працездатністю при підвищених навантаженнях і кутах перекосу. Робоча кліть стану 300/260x250 має чотирьохвалкове конструктивне виконання з номінальним діаметром і довжиною бочки приводних робочих валків 300 мм і 320 мм, а також з номінальним

діаметром і довжиною бочки опорних валків 260 мм і 250 мм відповідно.

Валковий вузол оснащений механізмом врівноваження і противигину робочих валків, виконаного у вигляді плунжерних гідроциліндрів. Міжвалковий зазор налаштовується на необхідну величину і регулюється в процесі прокатки за допомогою електромеханічного натискного механізму, привід якого здійснюється від двох електродвигунів постійного струму П-41 потужністю по 1,5 кВт через двоступеневий черв'ячний редуктор і передачу гвинт-гайка.

Стан 300/260×200 оснащений месдозами (рис. 2) для фіксування сили прокатки. Вони виконані у вигляді кільцевих пружних елементів з наклеєними на них тензометричними датчиками опору і встановленими безпосередньо під натискні гвинтами.

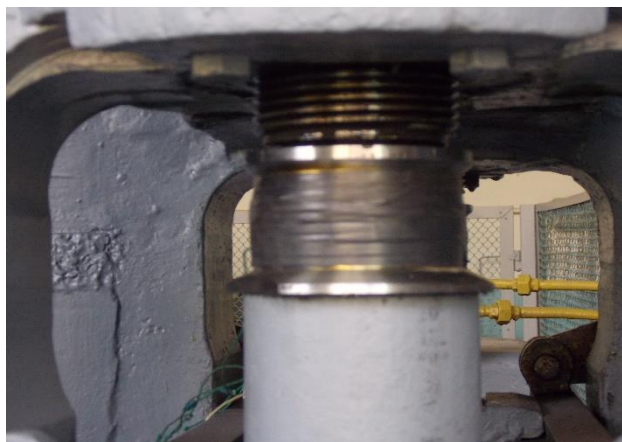


Рис. 2 – Загальний вигляд месдоз промислово-лабораторного стану 300/260×200

Оскільки прокатний стан 300/260×250 однокільтовий і повну імітацію безперервної прокатки смуг здійснити не вдасться, прийнято рішення виготовити зразки для полистної прокатки, що відповідатиме безперервній за однаковим значенням переднього і заднього натягнення. Зразки виготовили з гарячекатаного листа товщиною 2 мм сталі марки 08кп, прокатаного на ШСГП 1700 ПрАТ «ММК ім. Ілліча» та відібраного з середини пачки попередньо промаслених листів, що виключило наявність оксидів і забруднень на його поверхні. Різка листа на смуги шириною 40 мм і довжиною 325 мм проведена гідравлічними гільйотинними ножицями. Вибір розміру зразків обумовлений силовими і конструктивними обмеженнями стану 300/260×250, а також вимогами до розмірів зразків для проведення механічних випробувань. Після різки готові зразки поклалистопами і обернули плівкою на період зберігання.

Дослідження хімічного складу сталі початкових зразків проведені на обладнанні центральної лабораторії ПрАТ «МК «Азовсталь». Дослідження межі плинності початкових зразків проведено в умовах центральної лабораторії ПрАТ «ММК ім. Ілліча» з використанням обладнання: ZDM (zyklische dehnung maschine) (рис. 3) – для визначення межі плинності і міцності, а також прилад типу ТКС-1 (твердомір з конусом Суперроквелл) (рис. 4) – для визначення твердості. Прилад ТКС-1 настільного типу призначений для визначення поверхневої твердості металів за методом вдавнення алмазного конуса або сталеві кульки під дією заданого навантаження протягом певного часу.

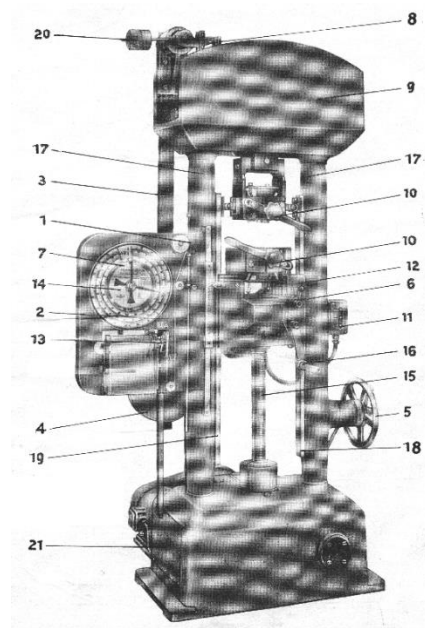


Рис. 3 – ZDM: 1 – шестеренна передача реєструючого приладу для запису діаграми «навантаження-деформація»; 2 – розсувна лінійка для вимірювання подовження; 3 – силосбуджуючий важіль; 4 – додаткові гирі з гайками з накаткою; 5 – маховичок варіатора; 6 – ручка перемикавання (головного, швидкодіючого і ручного приводного механізму); 7 – циферблат силосвимірювача; 8 – олійні гальма; 9 – поперечна балка; 10 – головка швидкозатискного пристрою (клино-роликові затискачі); 11 – кнопкова станція; 12 – повзун; 13 – ролик для приводної стрічки; 14 – стрілка з примусовим рухом; 15 – шпindel; 16 – річний курбель ручного приводного механізму; 17 – стійки станини; 18 – направляючі шини; 19 – цоколь – нижня частина станини; 20 – регульована гиря; 21 – захист, що запобігає випадковому випригуванню силосвимірювального механізму з правильного положення

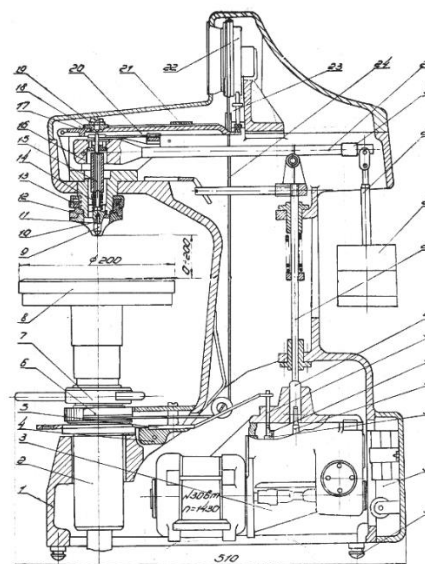


Рис. 4 – Прилад для визначення твердості типу ТКС-1: 1 – корпус; 2 – механізм підйому; 3 – привід приладу; 4 – клавіша; 5 – подовжувач; 6 – барабан; 7 – маховик; 8 – стіл; 9 – оправка; 10 – гвинт; 11 – обмежувач; 12 – направляюча втулка; 13 – обойма; 14 – пружина; 15 – шпindel; 16 – важільний блок; 17 – плаваюча підвіска; 18 – планка; 19 – гвинт; 20 – вимірювальний важіль; 21 – грузик; 22 – індикатор; 23 – накінецьник; 24 – трос; 25 – вантажний важіль; 26 – підвіска; 27 – вантажі; 28 – шток; 29 – штовхач; 30 – засувка; 31 – собачка; 32 – кулачок; 33 – храпове колесо; 34 – панель; 35 – опора; 36 – вантаж

Результати дослідження початкових зразків представлені в табл. 1.

Розроблені режими деформації (табл. 2–13), що дозволяють моделювати процес безперервної холодної прокатки жерсті товщиною 0,16 мм та 0,28 мм на п'яти-, шести- і семиклітьовому станах відповідно. Режими деформації розроблені виходячи з досвіду експлуатації сучасних безперервних станів холодної прокатки жерсті і з умови рівномірного завантаження клітей за силою і моментом прокатки, а також відповідно до рекомендацій [11], згідно з якими велике значення має вибір обтиснень для першої і останньої кліті стану. Величина обтиску в першій кліті сприяє зниженню початкової різнотовщинності підкату і його

поверхневих дефектів. При незначному задньому натяжінні (практично при його відсутності, як у випадку експерименту), щоб уникнути зсуву смуги по осі прокатки обтиснення в першій кліті рекомендується встановлювати в межах 30 %. Величина обтиску в останній кліті безперервного стану впливає на ефективність роботи систем автоматичного регулювання товщини, натягнення, форми смуги і повинна бути максимально можливою.

Характер розподілення обтиснень за клітьями безперервного стану у режимах деформації, представлених в табл. 2–7, відповідає схемі, що зазвичай використовується при прокатці тонкої жерсті [12].

Таблиця 1 – Хімічний склад та механічні характеристики початкової заготовки

Масова частка елементів, %								σ_T , МПа	HRB	δ , %
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu			
0,05	<0,01	0,33	0,02	0,016	0,013	0,03	0,04	285	49	27

Таблиця 2 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на п'ятиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску				
	1	2	3	4	5
h_{i-1} , мм	2,00	1,44	0,84	0,48	0,28
h_i , мм	1,44	0,84	0,48	0,28	0,16
ε , %	28,00	42,00	42,00	42,00	43,00
$\Sigma \varepsilon$, %	28,00	58,00	76,00	86,00	92,00

Таблиця 3 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на шестиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску					
	1	2	3	4	5	6
h_{i-1} , мм	2,00	1,40	0,91	0,59	0,38	0,25
h_i , мм	1,40	0,91	0,59	0,38	0,25	0,16
ε , %	30,00	35,00	35,00	35,00	35,00	36,00
$\Sigma \varepsilon$, %	30,00	55,00	70,00	81,00	88,00	92,00

Таблиця 4 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на семиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску						
	1	2	3	4	5	6	7
h_{i-1} , мм	2,00	1,66	1,13	0,77	0,52	0,35	0,24
h_i , мм	1,66	1,13	0,77	0,52	0,35	0,24	0,16
ε , %	17,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	34,00
$\Sigma \varepsilon$, %	17,00	44,00	62,00	74,00	82,00	88,00	92,00

Таблиця 5 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на п'ятиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску				
	1	2	3	4	5
h_{i-1} , мм	2,00	1,42	0,95	0,64	0,43
h_i , мм	1,42	0,95	0,64	0,43	0,28
ε , %	29,00	33,00	33,00	33,00	34,00
$\Sigma \varepsilon$, %	29,00	52,00	68,00	79,00	86,00

Таблиця 6 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на шестиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску					
	1	2	3	4	5	6
h_{i-1} , мм	2,00	1,57	1,12	0,79	0,56	0,40
h_i , мм	1,57	1,12	0,79	0,56	0,40	0,28
ε , %	21,00	29,00	29,00	29,00	29,00	30,00
$\Sigma \varepsilon$, %	21,00	44,00	60,00	72,00	80,00	86,00

Таблиця 7 – Режим обтиснень загальноприйнятого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на семиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску						
	1	2	3	4	5	6	7
h_{i-1} , мм	2,00	1,59	1,19	0,90	0,67	0,50	0,38
h_i , мм	1,59	1,19	0,90	0,67	0,50	0,38	0,28
ε , %	20,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	26,00
$\Sigma \varepsilon$, %	20,00	40,00	55,00	66,00	75,00	81,00	86,00

Розподілення обтиснень за клітьями безперервного стану у режимах деформації, представлених в табл. 8–13, має зростаючий характер, коли обтиск збільшується від першої кліті безперервного стану до останньої, що забезпечує прокатку підвищеної товщини смуги, яка володіє великим запасом пластичності. Обтиснення, встановлені для останньої кліті розроблених режимів, практично дорівнюють обтисненню попередньої кліті, що не відповідає загальноприйнятим рекомендаціям, але пояснюється тим, що за умови прокатки вже наклепаних смуг на конкретній кліті лабораторно-промислового стану сила прокатки стала б перевищувати допустиме значення.

Таблиця 8 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на п'ятиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску				
	1	2	3	4	5
h_{i-1} , мм	2,00	1,40	0,91	0,59	0,33
h_i , мм	1,4	0,91	0,59	0,33	0,16
ε , %	30,00	35,00	35,00	45,00	50,00
$\Sigma \varepsilon$, %	30,00	55,00	70,00	84,00	92,00

Таблиця 9 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на шестиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску					
	1	2	3	4	5	6
h_{i-1} , мм	2,00	1,80	1,40	1,00	0,60	0,32
h_i , мм	1,80	1,40	1,00	0,60	0,32	0,16
ε , %	10,00	22,00	29,00	40,00	47,00	50,00
$\Sigma \varepsilon$, %	10,00	30,00	50,00	70,00	84,00	92,00

Таблиця 10 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,16 мм на семиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску						
	1	2	3	4	5	6	7
h_{i-1} , мм	2,00	1,60	1,28	1,00	0,72	0,47	0,27
h_i , мм	1,60	1,28	1,00	0,72	0,47	0,27	0,16
ε , %	20,00	21,00	22,00	28,00	35,00	40,00	42,00
$\Sigma \varepsilon$, %	20,00	36,00	50,00	64,00	77,00	86,00	92,00

Таблиця 11 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на п'ятиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску				
	1	2	3	4	5
h_{i-1} , мм	2,00	1,54	1,12	0,76	0,48
h_i , мм	1,54	1,12	0,76	0,48	0,28
ε , %	23,00	27,00	32,00	37,00	41,80
$\Sigma \varepsilon$, %	23,00	44,00	62,00	76,00	86,00

Таблиця 12 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на шестиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску					
	1	2	3	4	5	6
h_{i-1} , мм	2,00	1,60	1,22	0,88	0,61	0,42
h_i , мм	1,60	1,22	0,88	0,61	0,42	0,28
ε , %	20,00	24,00	28,00	30,00	32,00	33,00
$\Sigma \varepsilon$, %	20,00	39,00	56,00	69,00	79,00	86,00

Таблиця 13 – Режим обтиснень зростаючого характеру для моделювання процесу прокатки жерсті товщиною 0,28 мм на семиклітьовому стані

Параметр	Номер пропуску						
	1	2	3	4	5	6	7
h_{i-1} , мм	2,00	1,60	1,25	0,96	0,72	0,53	0,39
h_i , мм	1,60	1,25	0,96	0,72	0,53	0,39	0,28
ε , %	20,00	22,00	23,00	25,00	26,00	27,00	28,00
$\Sigma \varepsilon$, %	20,00	38,00	52,00	64,00	73,00	81,00	86,00

Для вищезазначених режимів обтиснень розроблені схеми, що імітують процес прокатки жерсті у п'яти-, шести- і семиклітьовому безперервному стані. Схеми прокатки, відбору і нумерації зразків представлені у роботі [13].

У якості мастила використовується пальмова олія, яка подається на смугу перед завданням у валки стану.

Запис поточних у часі значень сили прокатки проводиться за допомогою світлопроменевих осцилографів Н-145, крім яких до складу відповідних вимірювальних ланцюгів входить джерело живлення постійного струму АГАТ і тензометричний підсилювач ТОПАЗ-3-01. Крім того, запис величини сили прокатки проводиться і за допомогою ЕОМ з

вбудованим аналого-цифровим перетворювачем АЦП-ADC16-32, що забезпечує можливість вимірювання за шістнадцятьма диференційованими каналами. Вхідний сигнал у цьому випадку оцифровується перетворювачем з частотою до 100 кГц з можливістю посилення в діапазоні 1...1000. Тарировка вимірювачів сили прокатки проводиться на пресі шляхом його навантаження силами відомої величини і отримання відповідних осцилограм.

Висновки. Різниця складу обладнання цехів з виробництва жерсті, параметрів жерстепрокатних танів, особливості умов деформації тонкої жерсті пояснюють складність теоретичного прогнозування та експериментального визначення параметрів процесу прокатки. Обґрунтована необхідність проведення експериментального дослідження з визначення енергосилових параметрів при прокатці жерсті при різних параметрах станів холодної прокатки.

Розроблена методика експериментального дослідження енергосилових параметрів при прокатці жерсті і тонкої жерсті для різних станів: п'яти-, шести- і семиклітьового. Експериментальне дослідження енергосилових параметрів при прокатці жерсті при різних параметрах станів холодної прокатки за розробленою методикою дозволить визначити їх оптимальне поєднання, а також обґрунтувати вибір прокатного обладнання з точки зору енергоефективності процесу прокатки і якості смуги.

Список літератури

1. Коновалов Ю. В., Присяжний А. Г., Кармазина И. В. Анализ тенденций мирового производства жести. *Металл и литье Украины*, 2015. № 1. С. 3–6.
2. Василів Я. Д., Путники А. Ю., Симененко О. В. Современный стан холодной прокатки для комбината «Запорожсталь». *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2007. № 1. С. 37–40.
3. Капланов В. І., Присяжний А. Г., Лепорська Н. В., Капканова О. В., Шемякін О. В., Васекін А. В. Пат. 201005396, України. *Багатоклітьовий безперервний стан холодної прокатування тонких штаб та жерсті*. 2010.
4. Федоринов В. А., Спасская А. М., Закорвашевич Н. А., Коряченко Н. А. Математическое моделирование степени использования запаса пластичности на кромках холоднокатаных лент и полос. *Обработка материалов давлением*, 2011. № 1. С. 81–84.
5. Василів Я. Д., Самокиш Д. Н., Замогильный Р. А., Железнов Д. В. Экспериментальное исследование влияния натяжения на силу прокатки и кривые пластичности при холодной прокатке. *Обработка материалов давлением*, 2017. № 1 (44). С. 192–198.
6. Tsujimoto M., Kaneko T., Yamada Y. et al. Technological development of high speed (2800 mpm) cold rolling. *CAMP-ISIJ*, 2002. № 15. С. 317–320.
7. Lee Y. H., Roh B. I., Chun W. I., Aeberli K., Pohl H. J. Two-stand temper and double reduction mill at Dongbu Steel, Asan Bay Works. *Revue de Metallurgie*, 2000. № 97 (11). С. 1391–1398.
8. Hiraiwa A., Nouchi S., Toshinori M. et al. New tandem cold rolling mill at Toyo Works. *CAMP-ISIJ*, 2002. № 15. С. 321–323.
9. Лагода Т., Деревянко Е. Жизнь моя – желянка 2003. *Бизнес*, 2003. № 34. С. 110–113.
10. Василів Я. Д., Путники А. Ю., Симененко А. В. Концепция развития прокатного производства комбината «Запорожсталь». *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2006. № 2. С. 48–51.
11. Пименов А. Ф., Сосковец О. Н., Трайно А. И., Трайно В. Л., Нетесов Н. П. *Холодная прокатка и отделка жести*. Москва: Металлургия, 1990. 208 с.
12. Василів Я. Д. *Инженерные модели и алгоритмы расчёта параметров холодной прокатки*. Москва: Металлургия, 1995. 368 с.
13. Коновалов Ю. В., Кармазина И. В. Нерешенные задачи при организации производства жести. *Обработка материалов давлением*, 2015. № 1 (40). С. 163–168.

References (transliterated)

1. Kononov Yu. V., Prisyazhnyj A. G., Karmazina I. V. Analiz tendencij mirovogo proizvodstva zhesti [Analysis of trends development tin world production]. *Metall i lit'yo Ukrainy* [Metal and casting of Ukraine], 2015. no 1. pp. 3–6.
2. Vasilyov Ya. D., Putnoki A. Yu., Simenenko O. V. Sovremenniy stan holodnoj prokatki dlya kombinata «Zaporozhstal» [Modern cold rolling mill for Zaporizhstal]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry], 2007. no 1. pp. 37–40.
3. Kaplanov V. I., Prisyazhnyj A. G., Lepors'ka N. V., Kaplanova O. V., Shemyakin O. V., Vasekin A. V. Pat. 201005396, Ukraina. *Bagatoklit'ovij bezperernij stan holodnogo prokatuvannya tonkih shtab ta zhersti* [Multistand continuous cold rolling mill of thin strips and tinplate]. 2010.
4. Fedorin V. A., Spasskaya A. M., Zakorvashevich N. A., Koryachenko N. A. Matematicheskoe modelirovanie stepeni ispol'zovaniya zapasa plastichnosti na kromkah holodnokatanyh lent i polos [Mathematical modeling of efficiency of plasticity margin at the edges of cold-rolled belts and strips]. *Obrabotka materialov davleniem* [Materials working by pressure], 2011. No 1. pp. 81–84.
5. Vasilyov Ya. D., Samokish D. N., Zamogil'nyj R. A., Zheleznov D. V. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya natyazheniya na silu prokatki i krivye plastichnosti pri holodnoj prokatke [Experimental study of the effect of tension on rolling force curves and plasticity in cold rolling]. *Obrabotka materialov davleniem* [Materials working by pressure], 2017. No 1 (44). pp. 192–198.
6. Tsujimoto M., Kaneko T., Yamada Y. et al. Technological development of high speed (2800 mpm) cold rolling. *CAMP-ISIJ*, 2002. No 15. pp. 317–320.
7. Lee Y. H., Roh B. I., Chun W. I., Aeberli K., Pohl H. J. Two-stand temper and double reduction mill at Dongbu Steel, Asan Bay Works. *Revue de Métallurgie*, 2000. No 97 (11). pp. 1391–1398.
8. Hiraiwa A., Nouchi S., Toshinori M. et al. New tandem cold rolling mill at Toyo Works. *CAMP-ISIJ*, 2002. No 15. pp. 321–323.
9. Lagoda T., Derevyanko E. Zhizn' moya – zhestyanka 2003 [My Life is a Tin Can 2003]. *Biznes* [Business], 2003. No 34. pp. 110–113.
10. Vasilyov Ya. D., Putnoki A. Yu., Simenenko A. V. Konceptiya razvitiya prokatnogo proizvodstva kombinata «Zaporozhstal» [The concept of the development of rolling production at the «Zaporozhstal» Integrated Iron and Steel Works]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry], 2006. No 2. pp. 48–51.
11. Pimenov A. F., Soskovec O. N., Trajno A. I., Trajno V. L., Netesov N. P. *Holodnaya prokatka i otdelka zhesti*. Moskva: Metallurgiya, 1990. 208 p.
12. Vasilyov Ya. D. *Inzhenernye modeli i algoritmy raschyota parametrov holodnoj prokatki* [Cold rolling and finishing of tinplate]. Moscow: Metallurgiya, 1995. 368 p.
13. Kononov Yu. V., Karmazina I. V. Nereshenne zadachi pri organizacii proizvodstva zhesti [Unsettled problems in tinplate production organization]. *Obrabotka materialov davleniem* [Materials working by pressure], 2015. No 1 (40). pp. 163–168.

Надійшла (received) 28.09.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Коновалов Юрій В'ячеславович (Коновалов Юрий Вячеславович, Kononov Yuriy Viacheslavovych) (1931-2016) – доктор технічних наук, професор, Донецький національний технічний університет, професор кафедри обробки металів тиском; м. Донецьк, Україна.

Кармазіна Ірина Василівна (Кармазина Ирина Васильевна, Karmazina Iryna Vasylivna) – аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»; м. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7464-3725>; e-mail: karmazirinka@gmail.com

Присяжний Андрій Григорович (Присяжный Андрей Григорьевич, Prisyazhnyi Andriy Hryhorovych) – кандидат технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри обробки металів тиском; м. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8062-075X>; e-mail: agp87514@gmail.com

Кухар Володимир Валентинович (Кухарь Владимир Валентинович, Kukhar Volodymyr Valentynovych) – доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», завідувач кафедри обробки металів тиском; м. Маріуполь, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>; e-mail: kvv.mariupol@gmail.com